

A Scoping Method to Implement Software Product Line for Inertial Navigation System

Samjoon Park[†] · Sungkyu Noh^{††} · Kwanwoo Lee^{†††} · ByungSu Park^{††††} · Seongho Nam^{††††}

ABSTRACT

Software Product Line Engineering (SPLE) has been known as an efficient and effective software reuse methodology. One of the key activities of SPLE is scoping analysis, which determines the range of the features to be developed as reusable assets. Although several scoping methods has been reported, they are not sufficient to apply them to the defense domain. In this paper, we present a scoping method applicable to the defense domain, and present a case study for applying SPLE to inertial navigation weapon system. At first, the proposed method determines the range of candidate features to be applied for the platform. The range is then adjusted from the perspective of product benefit. The final range of features is decided through considering the total cost of a product line. We will demonstrate and evaluate the applicability of the proposed method by showing how we can decide the scope of features to be engineered for the navigation software product line.

Keywords : Software Product Line(SPL), Scoping, Platform, Inertial Navigation System

관성항법소프트웨어 SPL(Software Product Line) 구현을 위한 플랫폼 범위결정 기법

박삼준[†] · 노성규^{††} · 이관우^{†††} · 박병수^{††††} · 남성호^{††††}

요약

SPLE (Software Product Line Engineering)는 소프트웨어 재사용 방법론 중의 하나이다. SPLE의 핵심적인 활동 중 하나는 재사용 가능한 자산 개발에 필요한 피처의 범위를 결정하는 활동이다. 기존 범위결정 방법은 국방 분야에 적용하는데 한계가 있어서, 본 논문에서는 무기체계 항법시스템에 적용 가능한 범위결정 방법을 제안하고, 그 적용 사례를 제시한다. 제안된 방법은 먼저 피처 이익 관점에서 플랫폼 적용 대상 피처의 범위를 결정한다. 그런 다음 제품 이익 관점에서 피처의 범위를 조정하고, 총 비용 관점에서 플랫폼 대상 피처와 제품라인에 포함될 피처의 최종 범위를 결정한다. 본 논문에서는 항법소프트웨어 제품라인에 대해 엔지니어링 할 피처의 범위를 결정하는 방법을 보여줌으로써 제안된 방법의 적용 가능성을 입증하고 평가한다.

키워드 : 소프트웨어 제품라인, 범위결정, 플랫폼, 관성항법소프트웨어

1. 서론

무기체계 항법시스템(Navigation System)은 운용중인 동체의 위치, 속도 및 자세를 측정하는 장치이다. 항법소프트웨어는 이러한 항법시스템에 탑재되어 목표 지점까지의 항법에 필요한 기능들을 처리하게 된다. 항법에 필요한 기능을 위해 항법소프트웨어는 동체의 현재 자세를 찾는 과정인 정렬 기

능, 자세, 속도 및 위치계산을 위한 순수항법 기능, 외부의 비관성 항법센서(GPS, 영상센서 등)를 활용한 복합항법 기능 등의 연산을 수행한다.

이러한 항법 기능은 다양한 유도, 지상, 해양, 항공 등의 무기체계에 필수요소로 현재는 각 체계별로 단일 무기체계 개발 프로세스에 따라 세부기능을 개발하여 사용 중이다. 특히 국내 국방 연구개발 분야에서 항법소프트웨어를 개발하는 과정에서 생산성 향상을 위한 코드 단위의 재사용이나 기술적인 공통 모듈, 알고리즘의 재사용은 부분적으로 이루어져 왔다. 그러나 제한적인 소프트웨어 재사용 방식은 유사 분야에서 재사용 가능한 조직 차원의 자산을 확보하고 재활용하는 수준으로 이루어지기는 어려우며, 환경이나 기반 기술 등의 다양성을 고려하는 데 한계가 있다.

항법소프트웨어 개발 및 적용 현황과 기술 등에 대한 도메

※ 이 논문은 방위사업청 핵심SW과제 연구비에 의하여 연구되었음.

† 비회원 : 국방과학연구소 수석연구원

†† 정회원 : 국방과학연구소 선임연구원

††† 정회원 : 한성대학교 정보시스템공학과 부교수

†††† 비회원 : 국방과학연구소 선임연구원

Manuscript Received : January 28, 2021

First Revision : March 29, 2021

Second Revision : May 13, 2021

Accepted : May 18, 2021

* Corresponding Author : Sungkyu Noh(snoh@add.re.kr)

다. 이 때 비즈니스 케이스 분석은 SPL 방법을 적용해서 제품을 개발하는 경우와 SPL 방법을 적용하지 않고 제품을 개발하는 경우를 비교해서 상대적으로 얻어지는 이득을 예측하는 목적으로 이루어진다. 여기서는 구체적으로 이익계산 수식은 제안하지 않고 있으며 PuLSE-Eco 방법론과 마찬가지로 경제적 이득을 특성화하기 위한 함수나 방법은 해당 도메인의 특성에 맞게 정의할 것을 추천하고 있다[7].

Lee 등[8]은 기존에 제안된 다양한 범위결정 프로세스의 특징들을 비교하여 각 단계의 활동과 입력 등의 차이점을 식별하고 하나의 연합적 접근방법을 제안하였다. 연합적 접근 방법에서는 각 단계별 활동에서 이루어져야 할 내용을 세부적으로 정의하고, 활동에 필요한 입력과 활동의 결과인 출력을 제안하였다.

범위결정과 관련된 또 다른 방식의 연구로는 [3]이 있다. 이 논문에서는 핵심자산 영역설정을 위한 비즈니스 케이스 분석을 위한 프로세스를 제안하고 있다. 프로세스의 첫 번째 활동인 공통성 분석은 도메인을 분석한 후 제품계열(product line)에 속하는 제품들 간에 공통으로 사용할 수 있는 피처를 식별하는 과정이다. 두 번째 활동인 가변성 분석은 제품별로 속성(attribute), 로직(logic), 워크플로우(work flow), 영속성(persistence), 인터페이스(interface)의 차이에 따라 특화되어야 하는 피처에 대해 식별하는 과정을 말한다. 다음 단계인 가변성간의 의존성 분석단계에서는 가변성간의 의존성에 따라 구현범위가 결정되는 부분을 식별한다. 그런 다음 지금까지 단계에서 수행한 내용에 대한 검증과정인 도메인 모델 정제를 거쳐 최종적으로 비즈니스 케이스 분석을 실시하게 된다. 비즈니스 케이스 분석은 SPL 개념으로 제품을 개발할 때 가장 합리적이며 재사용성을 최대화하는 핵심 자산의 영역을 선택하기 위해서 수행한다. 핵심자산 개발에 소요되는 비용은 가변성 없는 피처를 구현하기 위한 비용과 가변적 피처를 구현하기 위한 비용으로 구성된다. 여기서 가변적 피처의 구현비용은 가변점을 실체화하기 위한 비용, 가변치를 실체화하기 위한 비용, 가변성간 의존성을 실체화하기 위한 비용의 합으로 계산된다. 최종적으로 기대수익은 SPL을 적용하지 않은 개발비용 대비 SPL 적용한 개발비용을 비교하는 방식으로 결정된다.

지금까지 살펴본 기존연구에서와 같이 SPL 적용을 위한 범위결정 방식은 일반화된 방법론과 기준을 제시하지 않고 도메인의 특성에 따라 다양하게 정의하여 활용하는 것을 추천하고 있다. 국내연구에서 제안한 방법의 경우에는 국방분야의 무기체계 도메인 특성상 가변성 구현에 따른 세부 비용 항목을 특정하기가 여의치 않아 적용이 곤란하였다.

따라서 본 논문에서는 무기체계 항법소프트웨어 분야에 적용이 용이한 범위결정 방법과 그 적용사례를 제시한다.

3. 범위결정 기법

SPL 구축을 위한 플랫폼의 범위 결정은 플랫폼의 구축과 활용에 따른 이익과 비용 분석을 통해서 이루어진다. 범위결

정에서는 어떤 피처들을 플랫폼에 포함시킬 것인지와 어떤 범위의 제품라인까지 플랫폼을 적용할 것인지를 결정되어야 한다. 이러한 범위결정은 크게 세 단계로 진행되도록 설계하였다.

첫 번째 단계에서는 대상 피처를 플랫폼에 포함시켰을 때 발생 가능한 이익 관점에서 플랫폼 피처 범위를 결정한다. 두 번째 단계에서는 플랫폼을 적용할 때 해당 제품의 이익 관점에서 손익을 감안하여 적용 대상 제품라인 범위를 조정한다. 세 번째 단계에서는 제품라인의 전체 비용 관점에서 수용여부를 결정하고, 수용될 수 없는 경우, 다시 첫 번째 단계로 돌아가서 플랫폼 피처의 범위를 수정한다.

3.1 피처 이익 분석

첫 번째 단계는 피처 관점의 이익을 기반으로 플랫폼 피처 범위를 결정하는 목적함수를 정의하고, 이를 바탕으로 일차적인 플랫폼 피처 범위를 결정한다. 범위 결정을 위한 피처 기반의 이익 평가식 및 목적함수는 SPL 방법을 적용하려는 조직의 특성에 따라서 테일러링 될 수 있다.

본 논문에서 사용하는 피처 기반 이익 평가식은 다음과 같다.

- 피처 중요도 (피처별 제품라인 내의 중요도): $I(f)$

해당 피처가 제품라인 내의 제품들로부터 얼마나 많이 요구되고 얼마나 중요하게 판단되는 지를 평가하는 함수이다. $I(f)$ 는 제품집합 P 내에서 피처 f 의 평균 중요도를 나타내며, 값의 범위는 0보다 크고 최대 1의 값을 갖는다. 함수 값이 1이면 제품라인 모든 제품에서 매우 중요한 피처임을 나타낸다.

$$I(f) = \frac{\sum_{p \in P} I(f,p)}{|P|}$$

- $I(f,p)$: 제품 p 관점에서 피처 f 의 중요도 (0~1 사이의 값)
- P : 제품 집합

- 피처 구현 노력절감율(피처별 제품라인 내의 구현 노력절감율): $FESaving(f)$

해당 피처를 플랫폼에 포함하여 구현하였다면, 해당 피처는 제품라인내의 제품 개발 시에 반복적으로 구현될 필요 없이 재사용될 수 있다. 따라서, 피처 f 의 절감되는 구현노력 비율($FESaving(f)$)은 제품집합 P 내의 제품별 피처 f 의 구현노력 비율(0~1 사이의 값)의 합에서 절감되는 피처 f 의 최대 구현노력 비율인 1을 뺀 값을 제품집합 P 내의 제품수로 나눈 값이다. 이 값은 해당 피처가 제품라인 내의 많은 제품 개발 시에 재사용될수록 절감되는 구현 노력 비율은 커지게 되고, 해당 피처가 제품라인 내의 오직 하나의 제품 개발 시에만 사용된다면, 이 값은 0인 값을 가지게 된다. 이때 피처별 구현비용은 1~5의 값을 부여한다. 복잡도와 규모 면에서 가장 비용이 많이 소요되는 경우를 5로 하고 비용이 적게 소요될수록 1까지의 낮은 값을 부여하게 됩니다. 피처 단위의 비교 값으로 판단의 용이성을 주기위해 5단계의 레이팅 방법을 사용하였다.

$$FESaving(f) = \frac{(\sum_{p \in P} \frac{C(f,p)}{C_{max}(f,P)}) - 1}{|P|}$$

- C(f,p) : 제품 p관점에서 피처 f의 구현비용 (1~5)
- C_{max}(f,P) : 피처 f의 제품 집합 P에서의 최대 구현비용 (1~5)
- P : 제품 집합

다음으로 플랫폼 피처 범위 결정을 위한 피처 기반 이익 목적함수는 다음과 같다. 이 함수 값은 피처의 중요도와 구현 노력절감율 값이 클수록 증가하는 함수이다.(단, σ₁, σ₂는 상대적 중요도를 나타내는 것으로 σ₁ + σ₂ = 1이다.)

$$FScope(f) = I(f) \cdot \sigma_1 + FESaving(f) \cdot \sigma_2$$

위 목적함수의 입력 파라미터로 주어진 피처 f가 플랫폼 피처로 판정되는 기준은 FScope(f) 함수 값이 설정된 임계값(θ₁)보다 큰 가이다.

$$PL \ni f \rightarrow FScope(f) > \theta_1$$

- PL : 플랫폼 범위 내 피처 집합

3.2 제품 이익 분석

두 번째 단계에서는 제품 관점의 이익을 기반으로 제품라인 피처 범위를 결정하는 목적함수를 정의하고, 이를 바탕으로 일차적으로 결정된 제품라인 범위를 조정한다. 본 논문에서 사용하는 제품 이익 기반의 평가식은 다음과 같다.

- 제품별 자산 커버리지: AC(p)

많은 제품들이 플랫폼을 이용하여 개발된다면 자산의 재사용률이 높음을 의미한다. 제품별 자산 커버리지(Asset Coverage)는 제품 내에서 재사용되는 자산비율을 나타낸다.

$$AC(p) = \frac{\sum_{f \in PL} B(f,p)}{|F_p|}$$

- B(f,p) : 피처 f가 제품 p에 속하면 1
그렇지 않으면 0 반환
- F_p : 제품 p에 속하는 피처 집합

- 제품별 개발 노력절감율: PESaving(p)

제품별 제품개발 노력 절감은 제품 개발 시에 자산을 사용함으로써 절감되는 노력의 비율을 나타낸다.

$$PESaving(p) = \frac{\sum_{f_1 \in PL} C(f_1,p)}{\sum_{f_2 \in F(p)} C(f_2,p)}$$

- C(f,p) : 제품 p관점에서 피처 f의 구현비용 (1~5)
- F(p) : 제품 p에 포함된 피처 집합
- PL : 제품라인 범위에 속하는 피처 집합

위 제품 이익 기반 평가식을 이용하여 제품라인 범위를 결정하는 목적함수는 다음과 같이 정의된다. 이 함수 값은 제품별 자산 커버리지와 제품별 개발 노력절감율이 클수록 증가하는 함수이다.(단, σ₁, σ₂는 상대적 중요도를 나타내는 것으로 σ₁ + σ₂ = 1이다.)

$$PScope(p) = AC(p) \cdot \sigma_1 + PESaving(p) \cdot \sigma_2$$

위 목적함수의 입력 파라미터로 주어진 제품 p와 연관된 피처가 제품라인 피처에서 제외 또는 그대로 유지되느냐의 판정되는 기준은 PScope(p) 함수 값이 설정된 임계값(θ₂)보다 같거나 작을 경우이다. 이 경우 아래 식에 나타난 바와 같이 해당 제품 p는 제품라인에서 제외되며 해당 제품에만 사용되는 피처는 플랫폼 범위에서 제외된다. 만약, 이 기준이 만족되지 않는다면 1단계에서 설정된 제품라인 범위 PL은 그대로 유지된다.

$$PScope(p) \leq \theta_2 \rightarrow PL_{modified} = PL - \{x | x \in F(p) \wedge x \notin F(P-p)\}$$

- F(p) : 제품 p에 포함된 피처 집합
- PL : (수정전)제품라인 범위 내 피처 집합
- PL_{modified} : (수정후)제품라인 범위 내 피처 집합
- P : 제품 집합

3.3 제품라인 비용 분석

세 번째 단계에서는 제품라인의 비용을 계산하고, 이를 바탕으로 제품라인 피처 범위를 최종적으로 결정한다.

- 제품라인 자산 개발 비용: COST_{asset}

$$COST_{asset} = \sum_{f \in PL_{modified}} C_{max}(f,P)$$

제품라인 범위의 최종적인 결정은 포함된 피처를 커버하는 자산개발 비용이 설정된 비용 임계값(δ) 범위를 초과하지 않느냐(COST_{asset} ≤ δ)이다. 만약 이 조건이 만족되지 않는다면 새로운 제품라인 범위 결정을 위해 1단계 및 2단계로 되돌아가서, 단계별 파라미터를 재조정하면서 이후 단계를 반복한다.

4. 범위결정(scoping) 사례

무기체계 도메인에서 항법소프트웨어는 자세, 속도, 위치 정보를 제공하기 위해 다양한 유도무기, 무인기, 잠수함 등에 탑재된다. 따라서 SPL 범위선정 과정에서는 이처럼 다양한 분야의 무기체계를 대상으로 어떤 피처들을 공통활용 플랫폼 대상으로 결정하고, 어떤 무기체계 범위까지를 제품라인에 포함시킬 것인가를 결정하게 된다.

Table 1. The Candidates of Feature for INS

Name	Variability	Function
Platform Control	Mandatory	Initialization, interrupt, diagnostic, data input, mode control etc.
Align	Optional	Compass align using initial data
Self-align	Optional	Calculate initial position based on the fixed gain methodology.
Pure Navigation	Mandatory	Calculate status of body periodically using initial navigation information, variation of speed and angle.
Aided Navigation	Alternative	Calculate Height compensation value using data from aided sensors.
.....

Table 2. Setting Value of Parameter

Factor		Value
Feature	weight for feature importance	0.5
	weight for effort saving	0.5
Product	weight for asset coverage	0.5
	weight for effort saving	0.5
marginal value for selecting to feature		0.5
marginal value for selecting to product		0.7

4.1 후보 피처식별

범위선정의 첫 번째 단계는 대상 피처 후보군을 식별하는 것이다. 본 논문에서는 유도무기 3종(A, B, C 체계)과 무인기 체계 1종(D 체계), 지상항법장치 1종(E 체계) 등 5가지 항법장치를 대상으로 후보 피처들을 식별하였다. Table 1에 나타난 바와 같이 필수 또는 가변 형태로 플랫폼에 포함될 수 있는 총 46개의 후보 피처들을 식별하였다.

4.2 피처평가 기준값 설정

먼저 피처 이익분석을 위해 다섯 개의 관성항법시스템 소프트웨어를 구성하는 46개의 피처에 대해서 평가를 진행하였다. 피처평가를 위한 설정 값은 Table 2와 같이 설정하였다.

제품라인에 포함시킬 피처를 판정하기 위한 ‘피처 중요도’와 ‘피처구현노력 절감’ 평가항목의 비중은 동등하게 0.5로 설정하고 평가를 진행하였다.

제품라인 범위에 포함시킬 피처를 판정하기 위한 기준 값은 통상적으로 적용 가능한 0.5로 설정하였다. 즉, 제품라인을 통해서 제품을 개발할 때 중요도가 50%이상이고 피처를 구현하는 노력이 50%이상 절감될 수 있는 피처가 제품라인에 포함되도록 설정하고 평가를 진행하였다.

평가를 위해서 정의된 분류별 다섯 개의 관성항법시스템 소프트웨어들 가운데 플랫폼을 기반으로 개발되면 이익이 되는 제품라인을 판정하기 위해서 사용되는 ‘제품별 자산 커버리지’항목과 ‘제품별 개발노력 절감’ 항목의 비중은 0.5로 동일하게 설정하였다.

플랫폼 기반으로 이익을 얻을 수 있는 제품군을 결정하기 위한 기준 값을 0.7로 설정하여 평가를 진행하였다. 즉, 소프트웨어의 구성요소 가운데 70%정도를 플랫폼으로부터 유도해서 개발 할 수 있는 제품을 제품라인 범위에 포함시킬 수 있도록

Table 3. Evaluation Results for Feature Selection

Feature (Level1)	# of product having feature	Value of feature	Decision results (0.5>=)
platform control	3	0.42	OUT
Align	4	0.89	IN
Self-align	4	0.94	IN
Pure Navigation	4	0.95	IN
Aided Navigation	2	0.62	IN
.....

Table 4. Evaluation Results for Product Line Selection

System	A	B	C	D	E
# of feature	19	26	31	24	27
Evaluation value	0.80	0.85	0.60	0.88	0.73
Decision results (>=0.7)	IN	IN	OUT	IN	IN

설정하고 평가를 진행하였다. 이 기준 값은 SPLE 전문가가 그룹과 항법소프트웨어 엔지니어들과의 협의를 거쳐 결정된 값이다.

4.3 피처평가 결과

후보피처의 이익분석 평가 결과를 요약하면 다음과 같다. Table 3에 결과가 <IN>으로 판정된 피처는 피처선정 임계값 0.5를 초과하여 플랫폼에 포함시킬 경우 이득이 된다고 판단된 것을 의미한다

총 46개의 피처 중 16개의 피처가 경제적 이득이 확보되지 않아(피처의 가치가 0.5이하로 판정) 플랫폼 대상에서 제외되었다. 제외된 피처들은 주로 특정 체계에 국한하여 사용되거나 플랫폼 대상에 포함되더라도 비용절감 효과가 미미한 경우에 해당하였다.

플랫폼에 포함될 피처들이 결정되고 적용대상 제품라인이 확정되면 이후 개발단계에서는 선택된 30개의 피처에 대한 세부 피처들이 식별되는 과정을 거칠 예정이다.

다음으로 제품 이익 평가를 진행하였다. 제품라인 비용분석 기준으로 평가결과를 요약하면 Table 4와 같다. 판정결과 <IN>으로 판정된 체계의 경우에는 플랫폼으로부터 제품을 개발하면 이득이 되는 제품라인을 의미한다.

제품라인 선정판정에서 C체계의 경우 제품을 구성하는 후보피처의 개수가 31개로 가장 많음에도 불구하고 제품라인에서 제외되어야 한다고 판정된 이유는 오직 C체계에 국한되어 사용하는 피처가 많았기 때문이었다.

세 번째 단계에서는 제품라인의 비용을 계산하고, 이를 바탕으로 제품라인 피처 범위를 최종적으로 결정하였다. 앞서 두 단계를 거치는 동안 총 46개의 후보 피처군 중에 30개 피처가 제품라인 구현 대상 피처로 선정되었다. 이때 비용의 합이 110으로 계산되어 자산개발 비용이 설정된 비용 임계값(본 연구에서는 δ=120) 범위를 초과하지 않았으므로 범위선정 작업을 마칠 수 있었다.

5. 결 론

본 논문에서는 SPL 프로세스의 초기 과정인 공통활용 대상

범위결정(scoping) 기법 및 사례에 대해서 다루었다. 범위결정은 무기체계 항법소프트웨어 분야에 SPL을 적용하기 위해 확보되어야 하는 플랫폼의 기능범위를 결정하는 중요한 과정이다. 범위결정이 끝나면 공통 활용 소프트웨어 플랫폼에 포함될 피처가 결정되고 대상 기능요소의 분석, 설계, 구현, 시험과 관련된 산출물이 핵심자산으로 개발 및 축적되어 향후 여러 무기체계의 항법시스템 개발에 공통 자산으로 사용될 예정이다.

일반적으로 범위선정은 플랫폼으로 구현할 대상 피처에 대한 선정과 어떤 제품까지를 플랫폼 기반으로 개발할 것인지를 결정하는 일이 된다. 이러한 두 가지 사항의 의사결정을 위해서는 결정기준이 되는 의사결정 손익분기 함수가 필요하게 된다.

본 논문에서는 두 가지 의사결정에 필요한 분석기법을 제시하였다. 그리고 제안한 기법을 적용하여 유도무기 3종(A, B, C 체계)과 무인기체계 1종(D 체계), 지상항법장치 1종(E 체계) 등 5가지 항법장치를 대상으로 후보 피처들을 식별하였고 플랫폼 적용대상 무기체계군을 결정하였다.

본 논문에서는 플랫폼 대상 피처의 범위결정과 플랫폼 활용 제품라인 범위결정을 위해 중요도, 개발노력, 활용성 등을 감안하였다. 그러나 이러한 의사결정에는 추가로 고려되어야 할 요소들이 수없이 많이 존재할 수 있다. 예를 들어, 피처의 복잡도, 기술변화 대처가능성, 품질 측면 등의 정성적, 정량적 요인들이 고려되어야 할 것이다. 따라서 향후 본 논문에서 제안한 범위결정 기법은 추가적인 고려요인들을 감안한 기법으로 발전될 수 있겠다.

References

[1] O. H. Paek, S. K. Noh, M. K. Choi, and T. H. Lee, "A framework for software product line based development of weapon system software," *Communications of KIISE*, Vol.36, No.4, pp.19-27, 2018.

[2] K. Pohl, G. Böckle, and F. Van Der Linden, "Software Product line engineering: Foundations, principles, and techniques," Springer, 2005.

[3] S. Y. Park and S. D. Kim, "A systematic method for analyzing business cases in product line engineering," *The KIPS Transactions: Part D*, Vol.13-D, No.4, pp.565-572, 2006.

[4] F. J. Van der Linden, K. Schmid, and E. Rommes, "Software Product Lines in Action," Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007.

[5] S. Apel, D. Batory, C. Kästner, and Saake, G. "Feature-oriented software product lines: Concepts and implementation," Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013.

[6] J. Bayer et al., "PuLSE: A methodology to develop software product lines," *Proceedings of the 1999 symposium on Software Reusability*, pp.122-131, 1999.

[7] J. Bosch, "Design and Use of Software Architectures: Adopting and Evolving a Product-Line Approach," Addison-Wesley, 2000.

[8] J. Lee, S. Kang, and D. Lee, "A Comparison of Software Product Line Scoping Approaches," *International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering*, Vol.20, No.5, pp.637-663, 2010.



박삼준

<https://orcid.org/0000-0003-2614-3483>
 e-mail : samjoon@add.re.kr
 2006년 KAIST 산업 및 시스템공학과 (박사)
 1990년 ~ 현 재 국방과학연구소 수석연구원

관심분야 : Software Product Line, Software Testing, Machine Learning



노성규

<https://orcid.org/0000-0002-6790-8465>
 e-mail : snoh@add.re.kr
 2008년 한양대학교 전자컴퓨터통신학과 (석사)
 2012년 ~ 현 재 국방과학연구소 선임연구원

관심분야 : 소프트웨어공학, 인공지능, 기계학습, 컴퓨터비전



이관우

<https://orcid.org/0000-0002-0237-1855>
 e-mail : kwlee@hansung.ac.kr
 2003년 POSTECH Computer Science and Engineering(박사)
 2003년 ~ 현 재 한성대학교 정보시스템공학과 부교수

관심분야 : Software Product Line Engineering, Software Architecture



박병수

<https://orcid.org/0000-0002-8013-6711>
 e-mail : byungsoo_park@add.re.kr
 2009년 울산대학교 전기전자제어공학과 (석사)
 2010년 ~ 현 재 국방과학연구소 선임연구원

관심분야 : 관성항법, 복합항법



남성호

<https://orcid.org/0000-0003-0957-0301>
 e-mail : shnam@add.re.kr
 2013년 KAIST 전기전자공학과(석사)
 2013년 ~ 현 재 국방과학연구소 선임연구원

관심분야 : 관성항법, 복합항법